



(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : <b>H01J 37/02, 37/22</b>	A3	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 98/50938</b>  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 12. November 1998 (12.11.98)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/01186		(81) Bestimmungsstaaten: CA, JP, KR, SG, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 29. April 1998 (29.04.98)		
(30) Prioritätsdaten: 197 18 799.4 3. Mai 1997 (03.05.97) DE		Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>
(71)(72) Anmelder und Erfinder: HEILAND, Peter [DE/DE]; Karl-Liebknecht-Strasse 30, D-65479 Raunheim (DE).		(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen Recherchenberichts: 29. April 1999 (29.04.99)
(74) Anwalt: HERDEN, Andreas; Sonnenberger Strasse 100, D-65193 Wiesbaden (DE).		

(54) Title: IMAGING AND/OR RASTER-MODE SCANNING SYSTEM PROVIDED WITH A DEVICE FOR COMPENSATING THE IMAGE DEGRADATIONS RESULTING FROM ENVIRONMENTAL FACTORS

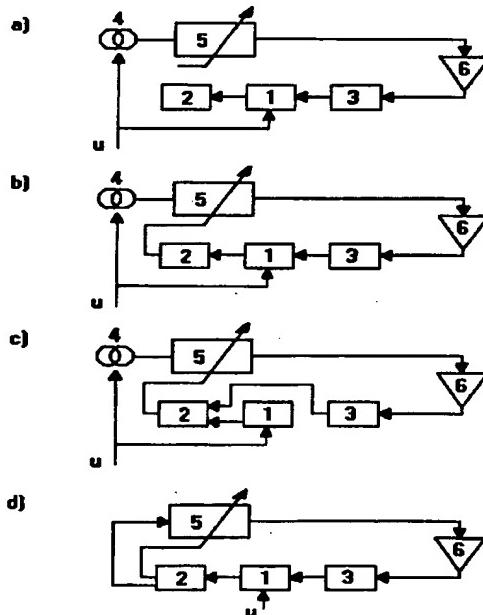
(54) Bezeichnung: ABBILDENDE UND/ODER ABTASTENDE VORRICHTUNG MIT EINER KOMPENSIERUNG VON, DURCH DIE UMGEBUNG VERURSACHTER ABBILDUNGSVERSCHLECHTERUNGEN

#### (57) Abstract

The invention relates to an imaging and/or scanning system, more particularly a scanning microscope provided with a device for compensating environmental factors likely to have a degrading impact on the image quality, consisting of an image collection unit for determining at least one picture point of an object, an imaging unit, at least one electrical filter and an actuating and/or control unit. With such a system, a first signal, which may vary depending on the environmental factors, passes through the filter and activates an actuating and/or control unit, which affects the representation and/or imaging in such a way that, when the system is calibrated, which is characterized in that the filter transmission curve is adjusted, the image degradation is clearly mitigated.

#### (57) Zusammenfassung

Beschrieben wird eine abbildende und/oder in einem Rastermodus abtastende Vorrichtung, insbesondere ein Raster-Mikroskop, mit einer Kompensationseinrichtung zur Kompensation von Umgebungseinflüssen, welche die Abbildung verschlechtern können, die eine Bilderfassungseinrichtung zur Erfassung mindestens eines Bildpunktes eines Objektes, eine der Bilderfassungseinrichtung nachgeschaltete Bildverarbeitungseinrichtung sowie eine Bildendarstellungseinrichtung, ferner zumindest ein elektrisches Filter, und einen Aktuator und/oder ein Stellglied umfaßt. Dabei durchläuft ein von den Umgebungseinflüssen abhängiges erstes Signal das Filter und steuert einen Aktuator und/oder ein Stellglied an, der bzw. das auf die Abbildung und/oder auf die Bilddarstellung einwirkt, so daß im kalibrierten Zustand der Vorrichtung, welcher durch Einstellung der Übertragungskennlinie des Filters gekennzeichnet ist, die Bildverschlechterung stark vermindert ist.



***LEDIGLICH ZUR INFORMATION***

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Korea	PT	Portugal		
CN	China	KR	Republik Korea	RO	Rumänien		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SG	Singapur		
EE	Estland	LR	Liberia				

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : <b>H01J 37/02</b>	A2	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 98/50938</b>
		(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: <b>12. November 1998 (12.11.98)</b>
(21) Internationales Aktenzeichen: <b>PCT/DE98/01186</b>		(81) Bestimmungsstaaten: CA, JP, KR, SG, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum: <b>29. April 1998 (29.04.98)</b>		
(30) Prioritätsdaten: <b>197 18 799.4 3. Mai 1997 (03.05.97) DE</b>		<b>Veröffentlicht</b> <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>
(71)(72) Anmelder und Erfinder: <b>HEILAND, Peter [DE/DE]; Karl-Liebknecht-Strasse 30, D-65479 Raunheim (DE).</b>		
(74) Anwalt: <b>HERDEN, Andreas; Sonnenberger Strasse 100, D-65193 Wiesbaden (DE).</b>		

(54) Title: IMAGING AND/OR RASTER-MODE SCANNING SYSTEM PROVIDED WITH A DEVICE FOR COMPENSATING THE IMAGE DEGRADATIONS RESULTING FROM ENVIRONMENTAL FACTORS

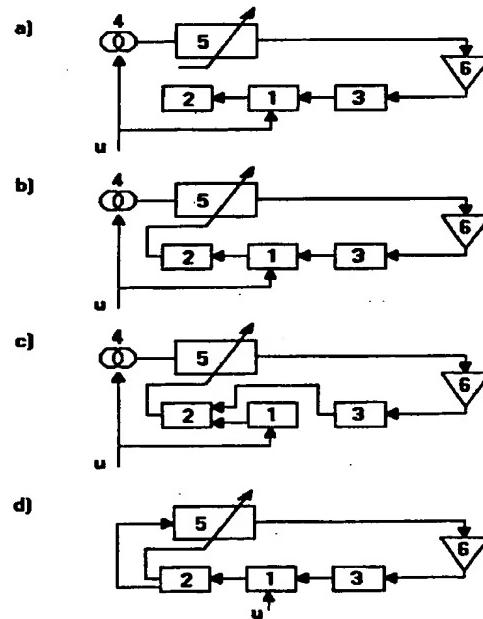
(54) Bezeichnung: ABBILDENDE UND/ODER ABTASTENDE VORRICHTUNG MIT EINER KOMPENSIERUNG VON, DURCH DIE UMGEBUNG VERURSACHTER ABBILDUNGSVERSCHLECHTERUNGEN

#### (57) Abstract

The invention relates to an imaging and/or scanning system, more particularly a scanning microscope provided with a device for compensating environmental factors likely to have a degrading impact on the image quality, consisting of an image collection unit for determining at least one picture point of an object, an imaging unit, at least one electrical filter and an actuating and/or control unit. With such a system, a first signal, which may vary depending on the environmental factors, passes through the filter and activates an actuating and/or control unit, which affects the representation and/or imaging in such a way that, when the system is calibrated, which is characterized in that the filter transmission curve is adjusted, the image degradation is clearly mitigated.

#### (57) Zusammenfassung

Beschrieben wird eine abbildende und/oder in einem Rastermodus abtastende Vorrichtung, insbesondere ein Raster-Mikroskop, mit einer Kompensationseinrichtung zur Kompensation von Umgebungseinflüssen, welche die Abbildung verschlechtern können, die eine Bilderfassungseinrichtung zur Erfassung mindestens eines Bildpunktes eines Objektes, eine der Bilderfassungseinrichtung nachgeschaltete Bildverarbeitungseinrichtung sowie eine Bilddarstellungseinrichtung, ferner zumindest ein elektrisches Filter, und einen Aktuator und/oder ein Stellglied umfaßt. Dabei durchläuft ein von den Umgebungseinflüssen abhängiges erstes Signal das Filter und steuert einen Aktuator und/oder ein Stellglied an, der bzw. das auf die Abbildung und/oder auf die Bilddarstellung einwirkt, so daß im kalibrierten Zustand der Vorrichtung, welcher durch Einstellung der Übertragungskennlinie des Filters gekennzeichnet ist, die Bildverschlechterung stark vermindert ist.



**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		

ABBILDENDE UND/ODER ABTASTENDE VORRICHTUNG MIT EINER KOMPENSIERUNG VON, DURCH DIE UMGEBUNG VERURSACHTER ABBILDUNGSVERSCHLECHTERUNGEN

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine abbildende und/oder in einem Rastermodus abtastende Vorrichtung und ein Verfahren zum Betrieb einer derartigen Vorrichtung mit einer Einrichtung zur Kompensation von Umgebungseinflüssen, die Abbildungsverschlechterungen verursachen können.

Abbildende und/oder in einem Rastermodus abtastende Vorrichtungen, beispielsweise Rasterelektronenmikroskope, Kraftmikroskope und Lichtrastermikroskope haben bei vielen Prüfverfahren von Proben eine große Bedeutung erlangt.

Diese Messungen werden jedoch häufig durch äußere Umgebungsbedingungen so beeinflußt, daß die Abbildungsqualität herabgesetzt wird. Daraus resultiert unter Umständen eine unerwünschte Verschlechterung des Auflösungsvermögens bzw. eine fehlerhafte Abbildung. Eine derartige Abbildungsverschlechterung wird im folgenden allgemein als Auftreten von Abbildungs- oder Bildfehlern beschrieben. Eine die Abbildungsqualität mindernde Einflußgröße kann bei Elektronenrastermikroskopen beispielsweise ein elektromagnetisches Störfeld sein, welches auf die Elektronenbahnen Einfluß nimmt. Ferner kommen Luft- und/oder Bodenschwingungen in der Umgebung des Mikroskops in Betracht, durch die Ortsunschärfen bei der Beleuchtung der Probe bzw. bei der Erfassung der Elektronen

verursacht werden. Die beschriebene Einflußnahme von elektromagnetischen Störfeldern bzw. Luft- und/oder Bodenschwingungen auf die Abbildungsqualität gilt prinzipiell für alle abbildende und/oder in einem Rastermodus abtastende Vorrichtungen.

Ein Verfahren, um Luft- und/oder Bodenschwingungen zu eliminieren, besteht beispielsweise darin, die Vorrichtung auf eine Schwingungsdämpfungs- oder Schwingungsisolationsvorrichtung zu stellen. Derartige Einrichtungen sind jedoch sehr teuer. Vor allem bei sehr niedrigen Störfrequenzen, wie sie beispielsweise bei Gebäudeschwingungen vorkommen können, bieten diese Einrichtungen weiterhin nur einen beschränkten Schutz gegen die vorgenannten Umgebungseinflüsse.

Im Falle von elektromagnetischen und/oder magnetischen Störfeldern werden nach dem Stand der Technik diese Felder erfaßt und mittels Hervorrufen eines Stromflusses durch eine Spule außerhalb der Vorrichtung kompensiert. Dieses Verfahren weist den Nachteil auf, daß die Störfelder durch eine negative Rückkopplung zwar am Ort der Erfassung der Störgröße wesentlich vermindert werden, aber nicht notwendigerweise am "eigentlichen Ort des Geschehens", d. h. im Fall eines Elektronenrastermikroskops, entlang der Elektronenbahnen.

Aufgabe der Erfindung ist es somit, eine Vorrichtung bereitzustellen, bei der wirkungsvoll und ohne hohen finanziellen Aufwand Umgebungseinflüsse, die Abbildungsverschlechterungen oder -fehler verursachen können, kompensiert werden.

Dies wird überraschend einfach durch eine Vorrichtung nach Anspruch 1 und ein Verfahren zum Betrieb einer derartigen Vorrichtung nach Anspruch 23 bereitgestellt.

Danach durchläuft ein von den Umgebungseinflüssen abhängiges erstes Signal ein einstellbares digitales elektrisches Filter und steuert einen Aktuator und/oder ein Stellglied an, der bzw. das auf die Abbildung und/oder auf die Bilddarstellung einwirkt, wobei im kalibrierten Zustand der Vorrichtung, der durch Einstellung der

Übertragungsparameter, d.h. der Übertragungskennlinie des Filters realisiert wird, die Bildverschlechterung stark vermindert oder im wesentlichen kompensiert ist. Durch das Einstellen des Filters kann sichergestellt werden, daß die Kompensation der die Abbildung störenden Umgebungseinflüsse im Gegensatz zu Vorrichtungen nach dem Stand der Technik "am eigentlichen Ort des Geschehens" stattfindet. Die Erfindung läßt sich in einer Vielzahl von Ausführungsformen nutzen. Dabei kann der Aufwand vom benötigten Grad der Kompensation der Umgebungseinflüsse abhängig gemacht werden.

Beispielsweise kann das digitale Filter zum Kalibrieren der Vorrichtung einen Kalibriereingang aufweisen, an dem ein zweites Signal zum Einstellen der Übertragungsparameter des Filters angelegt wird, oder das Filter kann eine Einrichtung zum manuellen Einstellen der Übertragungsparameter aufweisen. Liegt ein Ausgangssignal der Bildverarbeitungseinrichtung am Kalibriereingang des Filters an, so kann in Abhängigkeit der erfaßten Bildfehler die Übertragungsparameter des Filters derart abgestimmt werden, daß genau die Störung kompensiert wird, die auf die Abbildung einwirkt und nicht die Störung an einem Ort in der Nähe der Vorrichtung.

Das von den Umgebungseinflüssen abhängige erste Signal, welches am Signaleingang des Filters anliegt, kann entweder durch einen Sensor zur Erfassung mindestens einer physikalischen Größe außerhalb der Vorrichtung abgegeben werden, oder ein Ausgang der Bildverarbeitungseinrichtung ist mit dem Kalibriereingang des Filters verbunden, so daß das Kalibriersignal beispielsweise von einer Bildanalyse abhängt. Wird ein Sensor zur Abgabe des ersten Signals verwendet, lassen sich elektromagnetische und/oder magnetische Felder, Luftschnüngungen und/oder Körper- bzw. Bodenschwingungen erfassen. In vorteilhafter Weise kann eine Störgröße, aber auch mehrere gleichzeitig aufgenommen werden und die durch die Störgröße hervorgerufenen Abbildungsfehler durch Ansteuerung eines oder mehrerer Stellglieder kompensiert werden.

Die hohe Flexibilität der Erfindung zeigt sich auch darin, daß die erfindungsgemäße Einwirkung auf die Abbildung und/oder auf die Bilddarstellung in Abhängigkeit der Störgrößen auf vielfältige Weise stattfinden kann. Als Aktuatoren und Stellglieder lassen sich bevorzugt interne, vorhandene benutzen, beispielsweise Ablenksysteme oder Verstellungen von Probetischen. Zusätzlich zu Aktuatoren, die der Abtasteinrichtung zugeordnet sind, lassen sich darüber hinaus als weitere Aktuatoren alle Systeme verwenden, die wie Kraftaktuatoren oder Wegantriebe schwingungssensibel sind, um das Korrektursignal aufzubringen. Weiterhin besteht auch die Möglichkeit, die Kompensation der Abbildungsfehler durch Ansteuern eines Stellgliedes in einer Bildverarbeitungseinrichtung zu realisieren, ohne auf die fehlerhafte Abbildung selbst Einfluß zu nehmen. Dieses Stellglied in der Bildverarbeitungsrichtung umfaßt dabei beispielsweise einen verstellbaren Parameter für eine Berechnung in der Bildverarbeitungseinrichtung. Die Verwendung von mehrachsigen Sensoren und Stellgliedern ermöglicht vorteilhafterweise die Kompensation der Störungen in mehreren Raumrichtungen. Zu diesem Zweck kann beispielsweise das Kalibriersignal am Filter in Abhängigkeit vom Abtastort und/oder von der Zeit variieren.

In einer vorteilhaften Ausführungsform wird die Vorrichtung, beispielsweise ein Mikroskop, in einem Kalibrier- und nachfolgend in einem Bildmodus betrieben, wobei im Kalibrierbetrieb Umgebungseinflüsse, die die Abbildung verschlechtern, durch das Abbilden eines vorgegebenen Referenzobjektes und Vergleichen des Bildes mit der realen Struktur des Referenzobjektes erfaßt und durch Abgleich stark vermindert oder im wesentlichen kompensiert werden, und wobei die Abbildungsfehler durch Beibehaltung des Abgleichs im bildgebenden Betrieb auch bei einer Veränderung der Umgebungseinflüsse kompensiert sind.

Durch den Vergleich des Bildes mit der realen Struktur eines Referenzobjektes wird die Kompensation der

störenden Umgebungseinflüsse auf der Grundlage des objektiv vorliegenden Abbildungsfehlers durchgeführt. Damit lassen sich ferner zusätzlich zu den Umgebungseinflüssen auch systematische Abbildungsfehler der Vorrichtung erfassen und eliminieren. Während geringere Schwankungen der Störgröße automatisch kompensiert werden, kann stark veränderten Umgebungsbedingungen, beispielsweise durch einen neuen Standort des Mikroskops hervorgerufen, leicht durch einen Kalibrierzyklus Rechnung getragen werden, in welchem ein neuer, den veränderten Bedingungen angepaßter Abgleich der Vorrichtung durchgeführt wird. In vorbestimmten zeitlichen Abständen kann die Vorrichtung neu kalibriert werden, womit automatisch auch nicht offensichtliche Änderungen der Umgebungsbedingungen berücksichtigt sind.

Der Kalibrierbetrieb zeichnet sich dadurch aus, daß eine Korrelation zwischen dem jeweiligen erfaßten Abbildungsfehler und dem durch einen Sensor erfaßten Störeinfluß hergestellt wird. Im Umkehrschluß bedeutet dies, daß von einem durch einen Sensor außerhalb der Vorrichtung erfaßten Störeinfluß auf den durch diesen Störeinfluß hervorgerufenen Abbildungsfehler geschlossen und dieser Abbildungsfehler kompensiert werden kann. Ferner kann durch eine externe Ansteuerung der Abtasteinrichtung der Vorrichtung ein ausgewählter Abschnitt des Referenzobjektes, z. B. entlang eines Kreises, mehrmals in zeitlichen Abständen erfaßt werden. Auf diese Weise werden auch zeitlich veränderliche Abbildungsfehler, beispielsweise durch eine Gebäudeschwingung hervorgerufen, erkannt. Durch Variation des Abtastweges, beispielsweise durch Verändern des Abtastradius, können weiterhin ortsabhängige Abbildungsfehler, d. h. Abbildungsfehler, die vom Abtastort des beispielhaften Rastermikroskopes abhängen, erfaßt werden. Somit ist die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erfassung und Kompensation von orts- und zeitabhängigen Abbildungsfehlern eingerichtet.

Im Bildbetrieb wird nun die eigentlichen Probe durch Abtasten vollständig erfaßt, wobei das zweite Signal zum

Einstellen der Übertragungskennlinie des Filters vorteilhafterweise unter Zugrundelegen der während des Kalibrierbetriebs ermittelten Daten abgeleitet wird.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist die Vorrichtung zur automatischen Kalibrierung des Filters während des Bildbetriebs eingerichtet. Im Gegensatz zur vorhergehenden Ausführungsform wird die Kalibrierung während des normalen Bildmodus durchgeführt. Somit wird beispielsweise der übliche Mikroskopierablauf nicht gestört, da kein Wechsel zwischen einer Probe und dem Referenzobjekt durchgeführt werden muß. Neben dem Vorteil des geringeren Zeitbedarfs spricht die Vorrichtung direkt auf eine möglicherweise unbemerkt Änderung der Störgröße an und kalibriert sich durch Einstellung der Übertragungskennlinie des Filters neu, wobei das am Kalibriereingang des Filters angelegte Signal aus einer Bildanalyse in der Bildverarbeitungseinrichtung abgeleitet ist. Durch eine zeilenmäßige Bildanalyse lässt sich beispielsweise rekursiv die Verschiebung der Zeilenschwerpunkte aufeinanderfolgender Bildzeilen innerhalb des Gesamtbildes bestimmen und ein zweites Signal aus dieser zeitlichen Verschiebung zur Ansteuerung des Kalibriereingangs des Filters berechnen. Die Pixelverschiebungen des Zeilenschwerpunktes dient somit als Amplitude der Bildstörung. Die Zeilenfrequenz erlaubt eine Zuordnung von Zeit und Frequenz für eine Korrelationsbetrachtung bei der aktiven Aufschaltung eines von der Störgröße abhängigen Kompensationssignals, d. h. bei der Ansteuerung eines Aktuators und/oder einer Stellgröße, die auf die Abbildung und/oder die Bilddarstellung einwirken. Wird parallel zur ermittelten Störamplitude zu jedem Zeilenanfang ein außerhalb der Vorrichtung angeordneter Sensor zur Erfassung eines Umgebungseinflusses, welcher die Abbildung verschlechtert, eingelesen, so ermöglicht dies die gleichzeitige Aufnahme von Bildstörung und der diese verursachende externe Störeinfluß. Dieses Verfahren erlaubt somit eine direkte Berechnung der Übertragungsfunktion des Filters, die benötigt wird, um die

Störung zu kompensieren. Alternativ können prinzipielle Annahmen, z.B. bezüglich der Anzahl der Pole und Nullstellen der Übertragungsfunktionen getroffen werden, und mit der Bildanalyse Einzelparameter, d.h. beispielsweise die Pole und Nullstellen, iterativ optimiert werden. Die zeilenmäßige Bildanalyse erlaubt die Einstellung des Filters und damit die Kompensation der die Abbildungsfehler hervorruenden Umwelteinflüsse bis zu einer Frequenz, die nach dem Nyquist-Theorem der halben Erfassungsfrequenz entspricht.

Die Bildanalyse kann auch die rekursive Bestimmung der Verschiebung des Bildschwerpunktes aufeinanderfolgender Bilder umfassen. Dies bietet sich beispielsweise für Transmissionselektronenmikroskope oder Lichtmikroskope an, die zur Darstellung eines Objektes ein Kamerasystem verwenden. Durch die Ermittlung der Verschiebung des Bildschwerpunktes in zwei zueinander orthogonalen Achsen lassen sich so, über eine entsprechende Korrelation mit den Störgrößen, durch Ansteuerung entsprechender Aktuatoren und/oder Stellglieder die Bildfehler in zwei zueinander senkrechte Richtungen beheben. Die angesprochenen Kamerasysteme arbeiten herkömmlicherweise zwischen 25 und 70 Hz. Obwohl die Auswertung und damit auch die Kompensation wegen der Digitalisierung auf die halbe Bildwiederholrate reduziert ist, kann bei grundsätzlicher Kenntnis der Übertragungsfunktion zwischen Störgröße und Bildstörung durch Extrapolation die eigentliche Übertragungsfunktion auch über den vorgegebenen Frequenzrahmen hinaus bestimmt werden. Dies ermöglicht die Kompensation durch die Kompensationsgrößenaufschaltung auch bei Frequenzen, die größer als die Bildfrequenz des verwendeten Kamerasystems sind.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird nicht nur der Kalibriereingang des Filters von der Bildverarbeitungseinrichtung gespeist, sondern auch der Signaleingang des Filters. Somit kann auf den vorwärts geschalteten Sensor verzichtet werden und nur die aus der Bildanalyse gewonnene Verschiebungen in zwei zueinander

orthogonalen Richtungen geeignete Stellglied/Aktuatoren zurückgeführt werden, wobei diese wie in allen vorhergehenden vorteilhaften Ausführungsformen der Abtasteinrichtung und/oder der Bildverarbeitungseinrichtung zugeordnet oder auch weitere Aktuatoren sein können.

Die Erfindung kann in einer Vielzahl von abbildenden und/oder in einem Rastermodus abtastenden Vorrichtungen Verwendung finden, die sich zum Herstellen oder Betrachten bzw. Vermessen von Oberflächen eignen, beispielsweise Raster-Elektronenmikroskope, Kraftmikroskope, Oberflächenrauhigkeitsmeßgeräte, optische Rastermikroskope, Lichtmikroskope, Transmissionselektronenmikroskope oder Lithographieanlagen.

Schon bestehende Anlagen können durch einfaches Nachrüsten zu erfindungsgemäßen Vorrichtungen zur Kompensation von Umgebungseinflüssen ausgestattet werden.

Die Erfindung wird im folgenden auf der Grundlage einiger Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen beschrieben, von denen:

Fig. 1a bis 1d verschiedene Ausführungsformen der Erfindung in Form von Blockschaltbilder zeigt,

Fig. 2 ein erfindungsgemäßes Rastermikroskop schematisch darstellt,

Fig. 3 ein beispielhaftes Referenzobjekt darstellt, wie es für den Kalibrierbetrieb des Mikroskops der Fig. 2 Verwendung finden kann,

Fig. 4 ein beispielhaftes Signal S der Bilderfassungseinrichtung zeigt, wenn das Mikroskop der Fig. 2 im Kalibrierbetrieb ein Referenzobjekt auf einem vorgegebenen Weg 9 entsprechend der Koordinate x zu verschiedenen Zeiten abtastet und erfaßt,

Fig. 5 die beispielhafte Korrelation zwischen der Verschiebung der Zeilenschwerpunkte, welche durch die Kurve 15 dargestellt ist, mit dem zeitlich entsprechenden Verlauf 14 einer außerhalb der

Vorrichtung erfaßten Störgröße, welche die Verschiebung der Zeilenschwerpunkte verursacht, Fig. 6a bis 6c die Verschiebung des Bildschwerpunktes dreier aufeinanderfolgender Bilder zeigt, Fig. 7 den zeitlichen Verlauf 17 der Verschiebung des Schwerpunktes aus Fig. 6 für die x-Richtung zeigt und Fig. 8 eine beispielhafte Ausführungsform eines optischen Mikroskops darstellt, die dem Blockschaltbild der Fig. 1c entspricht.

Fig. 1a stellt eine beispielhafte Ausführungsform der erfindungsgemäßen abbildenden und/oder in einem Rastermodus abtastenden Vorrichtung 1 in Form eines Rasterelektronenmikroskops im Blockschaltbild schematisch dar. Die Ziffer 1 bezeichnet die Vorrichtung ohne die Kompensationseinrichtung zur Kompensation von Umgebungseinflüssen, welche die Abbildung verschlechtern können. Die Vorrichtung umfaßt einen Sensor 4 außerhalb der Vorrichtung, wobei dieser Sensor 4 ein erstes Signal, das vom elektromagnetischen Störfeld am Ort des Sensors abhängt, an ein digitales Filter 5 abgibt, wobei die Übertragungskennlinie des Filters manuell eingestellt wird. Die Störung U wirkt sowohl auf den Sensor als auch auf die Vorrichtung 1 ein, was hier, aber auch in den Figuren 1b bis 1d, durch die von U ausgehenden Pfeile angedeutet ist. Nach dem Durchlaufen des Filters und der Verstärkung in einem nachgeschalteten Regelverstärker 6 liegt das Signal an den Ablenkspulen (3) des Elektronenstrahls des Rasterelektronenmikroskops an. Der Regelverstärker 6 dient zum Anpassen des Ausgangssignals des Filters an den Aktuator und/oder an das Stellglied. Im einzelnen wird somit ein Kompensationssignal, d. h. ein Signal, welches von der Störgröße, also dem elektromagnetischen Störfeld, abhängt, auf das eigentliche Ansteuerungssignal der Ablenkspulen aufgeschaltet. Die Anordnung des Sensors außerhalb der Vorrichtung ist erfindungsgemäß so zu verstehen, daß der Sensor derartig angeordnet ist, daß das Ansteuern des

Aktuators und/oder des Stellgliedes keinen wesentlichen Einfluß auf das Meßsignal des Sensors 4 hat. Durch das Kalibrieren des Filters 5 wird erreicht, daß das aufgeschaltete Kompensationssignal für die Bilderfassung gerade einer entgegengesetzten Wirkung entspricht, welche das elektromagnetische Störfeld am Ort der Vorrichtung 1 hervorruft und sich somit die Auswirkung der Kompensationssignalaufschaltung und die Wirkung des störenden elektromagnetischen Feldes auf die Abbildung im wesentlichen aufheben. Bei einem Standortwechsel des Rasterelektronenmikroskops muß zur Modellierung der Übertragungsfunktion das Filter jeweils neu kalibriert werden.

Fig. 1b zeigt ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, bei welcher die Kalibrierung des Filters 5 und damit die Kalibrierung der Vorrichtung mittels eines zweiten Signals aus einer von der Bilderfassungseinrichtung 2 eingeschlossenen oder daran angeschlossenen Bildverarbeitungseinrichtung durchgeführt wird.

In Fig. 2 ist eine derartige Vorrichtung mit einem Anschluß der Bildverarbeitungseinrichtung 2 an den Kalibriereingang des Filters für den Fall eines Rasterelektronenmikroskops gezeigt. Die Bilderfassungseinrichtung 7 erfaßt zumindest ein Bildpunkt des Objektes und speist die Bildverarbeitungseinrichtung 2. Wie bei der ersten Ausführungsform wird das Signal des Sensors auf die Ablenkspulen vorwärtsgekoppelt. In der Bildverarbeitungseinrichtung 2 wird ein Signal zum Ansteuern des Kalibriereingangs des Filters erzeugt. Das Kalibrieren des Filters 5 und damit der Vorrichtung wird im folgenden mit Bezug auf zwei unterschiedliche Ausführungsformen beschrieben.

Nach einer ersten Ausführungsform ist das Mikroskop zum Betrieb in einem Kalibrier- und einem Bildmodus eingerichtet, wobei im Kalibrierbetrieb Umgebungseinflüsse, die die Abbildungsqualität mindern, durch das Abbilden eines

vorgegebenen Referenzobjektes und Vergleichen des Bildes mit der realen Struktur des Referenzobjektes erfaßt und durch Abgleich des Mikroskops im wesentlichen aufgehoben werden und die Abbildungsfehler auch bei einer Veränderung der Umgebungseinflüsse durch Beibehaltung des Abgleichs im Bildbetrieb stark vermindert oder im wesentlichen kompensiert werden. Je nach Betriebsmodus hängt das Eingangssignal des Kalibriereingangs des Filters 5 entweder vom jeweiligen gemessenen Abbildungsfehler ab (Kalibriermodus) oder wird mittels der während des Kalibriermodus gespeicherten Daten gewonnen (Bildmodus). Zwischen dem Kalibrier- und Bildbetrieb kann hin- und hergeschaltet werden.

Der Kalibriermodus wird genutzt, um Umgebungseinflüsse, d. h. in diesem Fall das elektromagnetische Störfeld, das die Abbildungsqualität mindert, durch das Abbilden eines vorgegebenen Abschnittes eines Referenzobjektes und Vergleichen des Bildes mit der realen Struktur des Referenzobjektes zu erfassen und die Vorrichtung derart abzulegen, daß durch äußere Umgebungsbedingungen verursachte und/oder apparativ bedingte, systematische Abbildungsfehler im wesentlichen kompensiert werden. Dieser Abgleich des Mikroskops wird erfindungsgemäß durch Einstellen der Übertragungskennlinie des Filters durchgeführt. In Fig. 3 ist dargestellt, wie im Kalibrierbetrieb die Abtasteinrichtung einen ausgewählten Abschnitt eines Referenzobjektes abtastet, wobei in der digitale Bildverarbeitungseinrichtung ein gespeichertes, dem Referenzobjekt zugeordnetes Signal mit dem von der Bilderfassungseinrichtung erhaltenen Bildsignal des Referenzobjektes verglichen und ein dem Unterschied zugeordneten Signal gebildet wird, welches an den Kalibriereingang des Filters abgegeben wird.

Das Abgleichverfahren im Kalibriermodus läßt sich durch folgende Schritte beschreiben:

- Ermitteln eines ersten Signals, das vom elektromagnetischen Störfeld am Ort des Sensors abhängt, durch einen Sensor 4;
- Anlegen des ersten Signals an den Signaleingang des Filters 5 ;
- Erfassen eines ausgewählten Abschnittes eines vorgegebenen Referenzobjektes mit einer Bilderfassungseinrichtung 7 durch Abtasten des Referenzobjektes;
- Vergleichen des erfaßten Bildes mit der realen Struktur des Referenzobjektes;
- Ermitteln eines dem Unterschied zugeordneten Fehlersignals;
- Anlegen des vom Fehlersignal abgeleiteten zweiten Signals an den Regeleingang des Filters zur Festlegung von dessen Übertragungskennlinie;
- Anlegen des Ausgangssignals des Filters 5 an den Signaleingang des Regelverstärkers 6 ;
- Anlegen des Ausgangssignals des Regelverstärkers 6 an die Ablenkspulen des Elektronenstrahls zur Korrektur der verminderten Bildqualität;
- iterativer Abgleich der Kennlinie des Filters 5, derart, daß die Verminderung der Abbildungsqualität stark vermindert oder im wesentlichen kompensiert wird, durch die Schritte:
  - Vergleich des korrigierten Bildes mit der realen Struktur des Referenzobjektes;
  - derartiges Verändern der Übertragungskennlinie des Filters 5, das sich das korrigierte Bild der realen Struktur des Referenzobjektes nähert;
  - Abspeichern von Daten zur Erzeugung der ermittelten Übertragungsfunktion des Filters 5 für den Bildbetrieb.
- Diese Daten zur Erzeugung der ermittelten Übertragungsfunktion des Filters 5 für den Bildbetrieb werden in einer Ausführungsform in einem der Bildverarbeitungseinrichtung 2 zugeordneten Speicher abgespeichert. In einer weiteren Ausführungsform ist der

Filter 5 zur Speicherung dieser Daten eingerichtet. Während der Bestimmung des Abbildungsfehlers sind die Einrichtungen zur Kompensation der Abbildungsfehler abgeschaltet. Danach wird das erfundungsgemäße Mikroskop mit dem vorstehend beschriebenen Verfahren abgeglichen, d.h. die Vorwärtskopplung für das Meßsignal des Sensors als Maß für die Störgröße eingestellt. Die Qualität der Kompensation wird dabei durch mehrmaliges Abtasten des Referenzobjektes und Vergleichen des Bildes mit der realen Struktur des Referenzobjektes gemessen. Durch das jeweilige Bestimmen der Qualität der Kompensation und dem entsprechenden Verändern der Übertragungsfunktion des Filters wird die Vorwärtskopplung iterativ derart verändert, daß die Abbildungsfehler des Rasterelektronenmikroskops minimiert werden.

Das Mikroskop kann bezüglich örtlich und/oder zeitlich veränderlicher Abbildungsfehler abgeglichen werden.

Hierzu wird im Kalibriermodus ein wie in Fig. 3 beispielhaft gezeigtes Referenzobjekt auf einem vorgegebenen Weg abgetastet. Das abgebildete Referenzobjekt umfaßt auf einer Unterlage abgeschiedene, kreisförmige Goldablagerungen, die in einer vorgegebenen Art und Weise angeordnet sind. Durch eine externe Ansteuerung der Abtasteinrichtung des Mikroskops wird ein ausgewählter Abschnitt des Referenzobjekts erfaßt. Dieser Weg kann beispielsweise wie der durch die Kurve 9 gezeigte geschlossen sein. Auf diesem geschlossenen Weg liegen Einzelobjekte 8, auf welche die Bilderfassungseinrichtung 2 anspricht und ein Signal ungleich Null erzeugt. Dies ist schematisch und beispielhaft in Fig. 4 gezeigt, in welcher der zu einem gegebenen Zeitpunkt  $t_i$  erfaßte Signalverlauf 10 beim Durchlaufen der geschlossenen Kurve 9 dargestellt ist. Zeitabhängige Störungen können zeitabhängige Abbildungsfehler verursachen. Aus diesem Grund wurde in der Darstellung der Fig. 4 die geschlossene Kurve zeitlich beabstandet viermal durchlaufen. Die resultierenden vier Signalverläufe 10 sind somit auch ein Maß für die zeitliche

Abhängigkeit der Störung. Ferner wird die durchlaufene Kurve durch Variieren des Radius R verändert, womit sich ortsabhängige Abbildungsfehler erfassen lassen. Durch Vergleichen des Bildes in der Bildverarbeitungseinrichtung 2 mit dem genau bekannten, vorgegebenen Referenzobjekt wird erfindungsgemäß der zeit- und/oder ortsabhängige Abbildungsfehler bestimmt. In dem in Fig. 4 wiedergegebenen Beispiel ist der zeitabhängige Abbildungsfehler durch die Kurve 11 dargestellt.

Der Bildbetrieb ist die Betriebsart des erfinderischen Rasterelektronenmikroskops, bei der die eigentliche Probe gemessen wird. Die im Kalibriermodus bestimmte Übertragungskennlinie des Filters ist während des darauffolgenden Bildbetriebs bezüglich der im Kalibrierbetrieb festgelegten Kennlinie unveränderlich. Wie vorstehend dargelegt, kann sie jedoch zeitlich und in Abhängigkeit von dem Abtastort variieren.

Unter der Annahme einer im wesentlichen konstanten Korrelation zwischen dem elektromagnetischen Störfeld und dem durch diese Störgröße hervorgerufenen Abbildungsfehler wird das Ausgangssignal des Filters 5 nach Durchlaufen des Regelverstärkers 6 auf die Ablenkeinheit 3 des Elektronenstrahls aufgeschaltet, so daß Bildfehler auch bei Veränderung der Umgebungseinflüsse, d.h. der Stärke des elektromagnetischen Störfeldes, im wesentlichen kompensiert werden.

In einer weiter ausgebildeten Ausführungsform werden zusätzlich zu den elektromagnetischen Störfeldern auch Luftschwingungen und/oder Bodenschwingungen durch entsprechende Sensoren erfaßt, die abgegebenen Signale durchlaufen kalibrierbare und den jeweiligen Störungen zugeordnete Filter mit einstellbaren Übertragungskennlinien und werden nach einer zusätzlichen Anpassung im Regelverstärker 6 der Ablenkeinheit als weiteres Steuersignal und/oder anderen Aktuatoren aufgeschaltet, so daß auch die durch Luftschwingungen und/oder

Bodenschwingungen hervorgerufenen Abbildungsfehler stark vermindert oder im wesentlichen kompensiert werden.

Die Notwendigkeit, zwischen verschiedenen Betriebsmodi der Vorrichtung hin- und herschalten zu müssen, wird in der im folgenden beschriebenen Ausführungsform dadurch überwunden, daß die Vorrichtung zur automatischen Kalibrierung des Filters während des Bildbetriebs eingerichtet ist. Zur Vereinfachung der Darstellung wird diese Ausführungsform wieder in Bezug auf ein Raster-Elektronenmikroskop beschrieben, sie ist jedoch nicht darauf beschränkt. Die Vorrichtung umfaßt im wesentlichen die Komponenten des vorhergehend beschriebenen Raster-Elektronenmikroskops mit der Ausnahme, daß in der Bildverarbeitungseinrichtung das erfaßte Bild analysiert und ein von der Analyse abhängiges Signal als zweites Signal an den Kalibriereingang des Filters angelegt wird. Diese Bildanalyse umfaßt in der beispielhaften Ausführungsform die rekursive Bestimmung der Verschiebung der Zeilenschwerpunkte aufeinander folgender Bildzeilen innerhalb des Gesamtbildes. Die Analyse beruht auf der Erkenntnis, daß Bilder von Objekten in abbildenden und/oder abtastenden Vorrichtungen im allgemeinen aufgrund der Einflußnahme der Störgrößen auf die Abbildung zeitlich nicht stabil sind. In Fig. 5 ist zur Erläuterung der Verlauf der Helligkeit innerhalb von vier ausgewählten Bildzeilen dargestellt, wobei die Schwerpunkte der Helligkeitsverteilung in jeder Zeile mit einem Kreis gekennzeichnet sind und die Kurve 15 die Verschiebung dieses Schwerpunktes der zeitlich nacheinander abgetasteten Zeilen verdeutlicht. Den jeweiligen Zeilenerfassungszeitpunkten entsprechend ist auf der linken Seite der Betrag einer beispielhaften Störgröße, welche die entsprechende Pixelverschiebung des Schwerpunktes innerhalb der Zeilen verursacht als Kurve 14 aufgetragen. Auf diese Weise läßt sich eine Korrelation zwischen der Störgröße und dem durch diese Störgröße verursachten Abbildungsfehler herstellen. Die Pixelverschiebung des Zeilenschwerpunktes von einer Bildzeile zur nächsten dient als Amplitude der Bildstörung.

Die Zeilenfrequenz erlaubt eine Zuordnung von Zeit und Frequenz für die Korrelation bei der aktiven Kompensationssignalaufschaltung des vorwärtsgekoppelten Signals. Wird parallel zur Ermittlung dieser Pixelverschiebung zu jedem Zeilenanfang der externe Sensor eingelesen, kann eine zeitparallele bzw. gleichzeitige Erfassung der Bildstörung und des diese Störung verursachenden Störeinflusses vorgenommen werden. Prinzipiell ist damit unter der Annahme einer ausreichenden Kohärenz die direkte Berechnung der am Filter 5 einzustellenden Übertragungsfunktion möglich, um die Bildstörung im wesentlichen zu kompensieren. In einer alternativen Ausführungsform werden prinzipielle Annahmen bezüglich der Pole und Nullstellen der Übertragungsfunktion des Filters getroffen und die Einzelparameter der variabel gestalteten Funktionen iterativ optimiert.

Im folgenden wird ein beispielhaftes Verfahren zur Ermittlung der Schwerpunktverschiebung aufeinanderfolgender Zeilen kurz skizziert. Aufgrund des Abtasttheorems können Störfrequenzen kompensiert werden, die kleiner als die halbe Abtastfrequenz sind. Ferner setzt das Verfahren voraus, daß einzelne Objekte innerhalb des Bildes sehr viel größer als der Zeilenabstand sind und daß Schwerpunktsverschiebungen senkrecht zur Abtastrichtung im Bild klein sind im Vergleich zu Schwerpunktsverschiebungen parallel zur Zeilenrichtung. Außerdem wird angenommen, daß der Unterschied der Intensität  $\epsilon_n(t)$  von benachbarten Zeilen gering ist, und die Intensität  $f_{n+1}$  der Zeile  $n+1$  geschrieben werden kann:

$$f_{n+1}(t) = f_n(t) + \epsilon_n(t).$$

Wird dieses System nun gestört, ergibt sich die gestörte Intensität  $d_n(t)$  unter der Annahme, daß die Störung innerhalb der Zeile eine zeitliche Verschiebung  $\Delta_n$  der Bildelemente verursacht durch:

$$d_{n+1}(t) = t_{n+1}(t+\Delta_{n+1}) = f_n(t+\Delta_{n+1}) + \epsilon_n(t+\Delta_{n+1}) \text{ und}$$

$$d_n(t) = d_n(t+\Delta_{n+1} - \Delta_n) + \epsilon_n(t+\Delta_{n+1}).$$

Unter der Verwendung eines nicht kausalen Wiener-Filters lässt sich ein  $\delta$ -Puls in Abhängigkeit der Zeilenverschiebungen  $\Delta_{n+1}$  und  $\Delta_n$  berechnen:

$$\delta(t + \Delta_{n+1} - \Delta_n) \approx \text{FFT}^{-1} \left\{ D_{n+1}(\omega) D_n^*(\omega) / |D_n(\omega)|^2 + \sigma_e^2 \right\},$$

wobei  $D_n(\omega)$  die Fourier-Transformierte der gestörten Intensität  $d_n(t)$  ist. Diese  $\delta$ -Funktion hängt von dem Unterschied der Schwerpunktverschiebung benachbarter Zeilen ab. Somit lässt sich rekursiv die Schwerpunktverschiebung innerhalb der Zeilen eines Bildes berechnen, da  $(\Delta_{n+1} - \Delta_n)$  wie obenstehend erläutert, durch die Bildanalyse bekannt ist. Zur Ansteuerung der Ablenkeinheit des Mikroskops wird unter Verwendung einer Vektorkorrelation ein Signal erzeugt, welches proportional der Korrelationsfunktion der gemessenen Störgröße und der berechneten Schwerpunktsverschiebungen in den einzelnen Zeilen ist. Diese Korrelation wird im digitalen Filter durchgeführt, wobei am Kalibriereingang des Filters eine zweites Signal anliegt, welches von der berechneten zeitlichen Verschiebung abhängt.

Eine weitere Ausführungsform der Erfindung eignet sich beispielsweise für Transmissionselektronenmikroskope (TEM) oder Lichtmikroskope oder artverwandte Vorrichtungen, die zur Darstellung des Objekts ein Kamerasystem 20 verwenden. Die in Fig. 1c im Blockschaltbild dargestellte Vorrichtung entspricht in der im folgenden beschriebenen Ausführungsform dem in Fig. 8 dargestellten optischen Mikroskop 18. Der externe Sensor 4 ist als mehrachsiger Schwingungssensor ausgeführt, dessen Signal über ein einstellbares Filter 5 und einen Verstärker 6 an ein Stellglied geführt wird, welches in der vorliegenden Ausführungsform direkt der Bildverarbeitungseinrichtung 21 zugeordnet ist und in dieser auf das Bild einwirkt. In Fig. 8 sind das Filter, der Verstärker und das Stellglied nicht explizit aufgeführt, sondern integral in der Bildverarbeitungseinrichtung 21 enthalten. Erfindungsgemäß wird in dieser Vorrichtung somit nicht auf einen Aktuator,

der auf die Abbildung Einfluß nimmt, ein Kompensationssignal aufgeschaltet, sondern statt dessen direkt auf die Bilddarstellung Einfluß genommen. Das Kamerasystem umfaßt eine CCD-Kamera 19 mit einem Monitor, wobei mit einer Bildfrequenz von 25 Hz gearbeitet wird. Die Bildverarbeitungseinrichtung 21 ist zum Abspeichern aufeinander folgender Bilder eingerichtet. Durch Bildanalyse wird die Verschiebung des Bildschwerpunktes aufeinanderfolgender Bilder in zwei zueinander orthogonalen Richtungen berechnet und zum Einstellen der Übertragungsfunktion des digitalen Filters 5 in ähnlicher Weise wie in der vorhergehend beschriebenen Ausführungsform verwendet. Eine veranschaulichende Darstellung dieser Verschiebung des Schwerpunktes aufeinanderfolgender Bilder ist in Fig. 6 und 7 gezeigt. Die Kurve 17 der Fig. 7 zeigt den Verlauf der Koordinate x des Schwerpunktes mit der Zeit. Die Differenzen zwischen zwei Abtastpunkten, z. B.  $t_0$  und  $t_1$ , entspricht somit der Bildwiederholfrequenz.

In einer weiteren Ausführungsform wird im Vergleich zur vorhergehend beschriebenen Ausführungsform ermöglicht, Störungen durch die Kompensationssignalaufschaltung auch bei Frequenzen zu korrigieren, die größer als die Bildwiederholfrequenz von 25 Hz sind. Zu diesem Zweck wird die Übertragungsfunktion, welche durch die Resonanzstellen im mechanischen Aufbau des Mikroskops festgelegt ist, als Filter 5 implementiert. Eine Fußpunktvibration X erzeugt in dieser Weise eine Relativbewegung  $\Delta x$  am Mikroskop. Damit ist die generelle Übertragungsfunktion durch die eigentliche Empfindlichkeit  $\Delta x/X$ , die Resonanzfrequenz  $f_R$  und durch den Parameter Q, der den asymptotischen Abfall von  $\Delta x/X$  zu hohen Frequenzen festlegt, vollständig bestimmt. Mittels der Ermittlung von drei Punkten der Kurve auch unterhalb der Resonanzfrequenz  $f_R$  kann somit auf die gesamte Funktion geschlossen werden und diese in der Vorwärtsregelung durch Aufschaltung eines Kompensationssignals auch für Störfrequenzen, die größer als die Bildwiederholfrequenz sind, benutzt werden.

Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Ausführungsformen besteht erfindungsgemäß weiterhin die Möglichkeit, die Bildinformation nicht in Vorwärtskopplung, sondern in einer klassischen Rückkopplung zur Kompensation von Bildstörungen zu verwenden. Dies ist schematisch im Blockschaltbild 1d dargestellt. Der Sensor, dessen Signal vorwärtsgekoppelt wird entfällt, und statt dessen werden die ermittelten Schwerpunktsverschiebungen in x- bzw. y-Achse aus der Bildanalyse nach Durchlaufen einer einstellbaren Übertragungsfunktion in ein geeignetes Stellglied, hier eine Verschiebeeinrichtung der Probe, zurückgeführt.

In weiteren, hier nicht weiter dargestellten Ausführungsformen der Erfindung kann die Vorrichtung ein Kraftmikroskop, ein Oberflächenrauhigkeitsmeßgerät, ein optisches Raster-Mikroskop oder eine Lithographieanlage sein.

Je nach Ausführungsform umfassen die angesteuerten Aktuatoren und Stellglieder bei Elektronenmikroskopen die schon beschriebene Ablenkeinrichtungen des Elektronenstrahls und/oder Stellglieder in der Bildverarbeitungseinrichtung, und bei optisch arbeitenden Vorrichtungen umfassen die Aktuatoren je nach Ausführungsform Ablenkeinrichtungen für das Licht und/oder Verschiebeeinrichtungen der Probe und/oder Stellglieder in der Bildverarbeitungseinrichtung. Ein Stellglied in der Bildverarbeitungseinrichtung bezeichnet beispielsweise hier die Einflußnahme auf einen Parameter, der Auswirkungen auf die Berechnung des Bildes hat. Weiterhin kommen weitere Aktuatoren zum Einsatz, die schwingungsempfindlich sind, sowie Kraftaktuatoren (elektrodynamische Linearantriebe) und Wegantriebe (Piezotranslato ren).

Patentansprüche

1. Abbildende und/oder in einem Rastermodus abtastende Vorrichtung, insbesondere Raster-Mikroskop, mit einer Kompensationseinrichtung zur Kompensation von Umgebungseinflüssen, welche die Abbildung verschlechtern können, umfassend:
  - eine Bilderfassungseinrichtung (7) zur Erfassung mindestens eines Bildpunktes eines Objektes und
  - eine der Bilderfassungseinrichtung nachgeschaltete Bildverarbeitungseinrichtung (2) sowie eine Bilddarstellungseinrichtung, ferner zumindest
  - ein elektrisches Filter (5), und
  - einen Aktuator und/oder ein Stellglied (3), dadurch gekennzeichnet,  
daß ein von den Umgebungseinflüssen abhängiges erstes Signal das Filter durchläuft und einen Aktuator und/oder ein Stellglied (3) ansteuert, der bzw. das auf die Abbildung und/oder auf die Bilddarstellung einwirkt, wobei im kalibrierten Zustand der Vorrichtung, welcher durch Einstellung der Übertragungskennlinie des Filters gekennzeichnet ist, die Bildverschlechterung stark vermindert oder im wesentlichen kompensiert ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das digitale Filter (5) zum Kalibrieren der Vorrichtung einen Kalibriereingang aufweist und ein zweites Signal am Kalibriereingang des Filters anliegt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, daß

die Vorrichtung wenigstens einen Sensor (4) zur Erfassung mindestens einer physikalischen Größe außerhalb der Vorrichtung umfaßt, wobei dieser Sensor das erste Signal, das von den Umgebungseinflüssen am Ort des Sensors abhängt, abgibt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (5) mindestens einen Aufnehmer für elektromagnetische und/oder magnetische Felder und/oder Luftschwingungen und/oder Bodenschwingungen umfaßt.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Signaleingang des Filters (5) mit einem Ausgang der Bildverarbeitungseinrichtung (2) verbunden ist.
6. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung eine Einrichtung zur manuellen Kalibrierung des Filters umfaßt.
7. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Stellglied (3) in der Bildverarbeitungseinrichtung (2) angeordnet ist und zumindest ein Teil der Bildverschlechterung in der Bildverarbeitungseinrichtung vermindert oder kompensiert ist.
8. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Aktuator (3) der Abtasteinrichtung zugeordnet ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet,

daß ein Ausgang der Bildverarbeitungseinrichtung (2) am Kalibriereingang des Filters (5) angeschlossen ist.

10. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet,  
daß das zweite Signal in Abhängigkeit vom Abtastort und/oder von der Zeit variiert.
11. Vorrichtung nach den Ansprüchen 3 und 9  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Vorrichtung in einem Kalibrier- und nachfolgend in einem Bildmodus betreibbar ist,  
wobei im Kalibrierbetrieb Umgebungseinflüsse, die das Bild verschlechtern, durch das Abbilden eines vorgegebenen Referenzobjektes und Vergleichen des Bildes mit der realen Struktur des Referenzobjektes in der Bildverarbeitungseinrichtung erfaßt und durch Kalibrierung des Filters stark vermindert oder im wesentlichen kompensiert werden, und  
wobei die Bildfehler durch Beibehaltung des Abgleichs im Bildbetrieb auch bei einer Veränderung der Umgebungseinflüsse kompensiert sind.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11,  
dadurch gekennzeichnet, daß im Kalibrierbetrieb:
  - eine Abtasteinrichtung einen ausgewählten Abschnitt eines Referenzobjektes abtastet,
  - die digitale Bildverarbeitungseinrichtung (2) ein gespeichertes, dem Referenzobjekt zugeordnetes Signal mit dem von der Bilderfassungseinrichtung (7) erhaltenen Bildsignal des Referenzobjektes vergleicht und ein dem Unterschied zugeordnetes Fehlersignal bildet und an das Filter (5) abgibt und
  - die Vorrichtung in einem Speicher Daten zur Erzeugung des zweiten Signals zur Einstellung der Übertragungsparameter des Filters für den Bildbetrieb ablegt.

13. Vorrichtung nach Ansprache 11,  
dadurch gekennzeichnet, daß im Bildbetrieb:
  - eine Abtasteinrichtung das abzubildene Objekt abtastet und
  - die Vorrichtung unter Zugrundelegen der während des Kalibrierbetriebs abgespeicherten Daten das zweite Signal zur Festlegung der Übertragungsparameter des Filters erzeugt.
14. Vorrichtung nach den Ansprüchen 3 und 9  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Vorrichtung zur automatischen Kalibrierung des Filters während des Bildbetriebs eingerichtet ist.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Bilderfassungseinrichtung (7) das abzubildende Objekt abtastet und die Bildverarbeitungseinrichtung (2) zur Ermittlung der Verschiebung der Zeilenschwerpunkte aufeinander folgenden Bildzeilen innerhalb des Gesamtbildes eingerichtet ist und an das Filter (5) das zweite Signal in Abhängigkeit dieser zeitlichen Verschiebung abgibt.
16. Vorrichtung nach Anspruch 14  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Bildverarbeitungseinrichtung zur Ermittlung der Verschiebung des Bildschwerpunktes aufeinander folgenden Bilder eingerichtet ist und an das Filter (2) das zweites Signal in Abhängigkeit dieser zeitlichen Verschiebung abgibt.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Filter zur Durchführung der Kreuzkorrelation des ersten Signals und des zweiten Signals eingerichtet ist.

18. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüchen dadurch gekennzeichnet,  
daß die Vorrichtung zum Vermindern oder Kompensieren der Bildverschlechterung in zwei zueinander orthogonalen Richtungen eingerichtet ist.
19. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,  
daß die Vorrichtung ein Raster-Elektronenmikroskop, ein Kraftmikroskop, ein Oberflächenrauhigkeitsmeßgerät, ein optisches Rastermikroskop, ein Lichtmikroskop, ein Transmissionselektronenmikroskop oder eine Lithographieanlage umfaßt.
20. Vorrichtung nach Anspruch 19,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß beim Elektronenmikroskop der Aktuator (3) eine Ablenkeinrichtung des Elektronenstrahls und/oder eine Verschiebeeinrichtung der Probe umfaßt.
21. Vorrichtung nach Anspruch 19,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß beim Lichtmikroskop der Aktuator (3) eine Ablenkeinrichtung für das Licht und/oder eine Verschiebeeinrichtung der Probe umfaßt.
22. Vorrichtung nach den Ansprüchen 5, 9 und 16  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Vorrichtung ein Lichtmikroskop oder ein Transmissionselektronenmikroskop ist, wobei auch das erste Signal aus der ermittelten zeitlichen Verschiebung bestimmt ist.
23. Verfahren zum Betrieb einer abbildenden und/oder in einem Rastermodus abtastenden Vorrichtung zur Kompensation von Umgebungseinflüssen, welche die Abbildung verschlechtern können, insbesondere zum

Betrieb einer Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß ein von den Umgebungseinflüssen abhängiges erstes Signal durch ein Filter (5) geführt und mit dem Ausgangssignal des Filters ein Aktuator und/oder ein Stellglied (3) angesteuert wird, der bzw. das auf das Abbildung und/oder die Bilddarstellung einwirkt, wobei im kalibrierten Zustand der Vorrichtung, der durch Einstellen der Übertragungskennlinie des Filters erfolgt, die Bildverschlechterung stark vermindert oder im wesentlichen kompensiert wird.

24. Verfahren nach Anspruch 23,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Kalibrieren der Vorrichtung mittels Einstellen des Filters (5) durch Anlegen eines zweiten Signals an den Kalibriereingang des Filters durchgeführt wird.
25. Verfahren nach Anspruch 23,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Kalibrieren der Vorrichtung durch manuelles Einstellen des Filters (5) durchgeführt wird.
26. Verfahren nach Anspruch 23,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß ein Stellglied (3) in der Bildverarbeitungseinrichtung (2) angesteuert und die Kompensation der Bildverschlechterung zumindest teilweise in der Bildverarbeitungseinrichtung durchgeführt wird.
27. Verfahren nach Anspruch 23,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß ein Aktuator (3) in der Abtastvorrichtung angesteuert und die Kompensation der Bildverschlechterung zumindest teilweise durch

Ansteuerung des Aktuators (3) der Abtastvorrichtung durchgeführt wird.

28. Verfahren nach Anspruch 24,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Vorrichtung in einem Kalibrier- und nachfolgend  
in einem Bildmodus betrieben wird, wobei
  - Umgebungseinflüsse, die die Abbildung verschlechtern  
mittels eines außerhalb der Vorrichtung angeordneten  
Sensors (4), der den Signaleingang eines Filters (5)  
ansteuert, erfaßt werden,
  - im Kalibrierbetrieb die Verschlechterung des Bildes  
durch das Abbilden eines vorgegebenen  
Referenzobjektes und Vergleichen des Bildes mit der  
realen Struktur des Referenzobjektes erfaßt und durch  
Abgleich der Übertragungskennlinie des Filters stark  
vermindert oder im wesentlichen kompensiert wird und
  - im Bildbetrieb die Verschlechterung des Bildes durch  
Beibehaltung des Abgleichs auch bei Veränderung der  
Umgebungseinflüsse wenigstens teilweise kompensiert  
wird.
29. Verfahren nach Anspruch 28,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
der Kalibrierbetrieb wenigstens die Schritte umfaßt:
  - Ermitteln eines ersten Signals, das vom Störeinfluß  
am Ort des Sensors abhängt, durch einen Sensor (5),  
der außerhalb der Vorrichtung angeordnet ist;
  - Anlegen des ersten Signals an den Signaleingang des  
Filters;
  - Erfassen eines ausgewählten Abschnittes (9) eines  
vorgegebenen Referenzobjektes mit einer  
Bilderfassungseinrichtung (7) durch Abtasten des  
Referenzobjektes;
  - Vergleichen des erfaßten Bildes mit der realen  
Struktur des Referenzobjektes; und

- Ermitteln eines dem Unterschied zugeordneten Fehlersignals;
  - Anlegen des vom Fehlersignal abgeleiteten zweiten Signals an den Regeleingang des Filters (5) zur Festlegung der Filterkennlinie;
  - Anlegen des Ausgangssignals des Filters an den Signaleingang des Regelverstärkers (6)
  - Anlegen des Ausgangssignals des Regelverstärkers an einen Aktuator und/oder ein Stellglied (3) zur Korrektor der verminderten Bildqualität;
  - iterativer Abgleich der Kennlinie des Filters, derartig, daß die Verminderung der Abbildungsqualität stark vermindert oder im wesentlichen kompensiert wird, durch die Schritte:
    - Vergleich des korrigierten Bildes mit der realen Struktur des Referenzobjektes
    - derartiges Verändern der Kennlinie des Filters, daß sich das korrigierte Bild der realen Struktur des Referenzobjektes nähert
    - Abspeichern von Daten zur Erzeugung der ermittelten Kennlinie des Filters für den Bildbetrieb.
30. Verfahren nach Anspruch 28,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß im Bildbetrieb eine Probe durch Abtasten erfaßt wird, wobei die im Kalibrierbetrieb ermittelte Kennlinie des Filters der Vorrichtung fest vorgegeben wird, und das Ausgangssignal des digitalen Filters nach Durchlaufen eines Regelverstärkers (6) dem Aktuator und/oder dem Stellglied (3) zugeordnet wird, so daß Bildfehler auch bei Veränderung der Umgebungseinflüsse stark vermindert oder im wesentlichen kompensiert werden.
31. Verfahren nach Anspruch 24,  
dadurch gekennzeichnet, daß

- Umgebungseinflüsse, welche die Abbildung verschlechtern mittels eines außerhalb der Vorrichtung angeordneten Sensors (3), der den Signaleingang eines digitalen Filters (5) mit einem ersten Signal ansteuert, erfaßt werden,
  - eine Bilderfassungseinrichtung eine Bildverarbeitungseinrichtung (2) speist, in der eine Bildanalyse durchgeführt wird und ein von der Analyse abhängiges Signal als zweites Signal an den Kalibriereingang des Filters angelegt wird,
  - der Ausgang des Filters über einen Regelverstärker (6) an einem Aktuator und/oder einem Stellglied (3) der Vorrichtung angelegt wird, der beziehungsweise das auf das Bild einwirkt wodurch die Bildverschlechterung stark vermindert oder im wesentlichen kompensiert wird.
32. Verfahren nach Anspruch 31,  
dadurch gekennzeichnet, daß
- das abzubildende Objekt durch die Bilderfassungseinrichtung abgetastet wird,
  - die Bildanalyse die rekursive Bestimmung der Verschiebung der Zeilenschwerpunkte aufeinander folgenden Bildzeilen innerhalb des Gesamtbildes umfaßt, und
  - das zweite Signal aus dieser zeitlichen Verschiebung berechnet wird.
33. Verfahren nach Anspruch 31,  
dadurch gekennzeichnet, daß
- die Bildanalyse die rekursive Bestimmung der Verschiebung des Bildschwerpunktes aufeinander folgenden Bilder umfaßt, und
  - das zweite Signal aus dieser zeitlichen Verschiebung berechnet wird.
34. Verfahren nach einem der Ansprüche 32 oder 33,

dadurch gekennzeichnet, daß im Filter (5) im wesentlichen die Kreuzkorrelation des ersten Signals mit dem zweiten Signals durchgeführt wird und somit der Aktuator oder das Stellglied (3) mit einem Ansteuersignal gespeist wird, welches von der Kreuzkorrelation zwischen dem ersten Signal und zweiten Signal abhängt.

35. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 oder 24 dadurch gekennzeichnet, daß

- eine Bilderfassungseinrichtung eine Bildverarbeitungseinrichtung (2) speist,
- in der Bildverarbeitungseinrichtung eine Bildanalyse durchgeführt wird und
- ein von der Analyse abhängiges Signal als erstes Signal an den Signaleingang des Filters angelegt wird, sowie
- ein von der Analyse abhängiges Signal als zweites Signal an den Kalibriereingang des Filters angelegt wird,
- der Ausgang des Filters (5) über einen Regelverstärker (6) an wenigstens einem Aktuator und/oder einem Stellglied (3) der Vorrichtung anliegt, der beziehungsweise das auf die Abbildung einwirkt wodurch die Abbildungsverschlechterung stark gemindert oder im wesentlichen kompensiert wird.

36. Verfahren nach Anspruch 35

dadurch gekennzeichnet, daß die Bildanalyse die rekursive Bestimmung der Verschiebung der Zeilenschwerpunkte aufeinander folgenden Bildzeilen innerhalb des Gesamtbildes oder die rekursive Bestimmung der Verschiebung des Bildschwerpunktes aufeinander folgenden Bilder umfaßt.

37. Verfahren nach einem der vorstehenden Verfahrensansprüche,

dadurch gekennzeichnet,  
daß die Bildverschlechterung in zwei zueinander  
orthogonalen Richtungen im wesentlichen kompensiert  
wird.

38. Vorrichtung zur Kompensation von Umgebungseinflüssen in abbildenden und/oder in einem Rastermodus abtastenden Apparaten, welche die Abbildung verschlechtern können, umfassend:
  - ein kalibrierbares digitales elektrisches Filter (5);
  - ein dem Filter elektrisch nachgeschalteter Regelverstärker (6),
  - ein vom Regelverstärker angesteuerter Aktuator und/oder angesteuertes Stellglied (3), dadurch gekennzeichnet, daß ein von den Umgebungseinflüssen abhängiges erstes Signal über den Signaleingang des Filters durch dieses führbar ist und ein zweites Signal am Kalibriereingang des Filters anliegt und der angesteuerte Aktuator und/oder das angesteuerte Stellglied (3) auf das Bild einwirkt, wobei im kalibrierten Zustand des Filters die Bildverschlechterung stark vermindert oder im wesentlichen kompensiert ist.
39. Vorrichtung nach Anspruch 38,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Vorrichtung wenigstens einen Sensor (4) zur Erfassung mindestens einer physikalischen Größe außerhalb der Vorrichtung umfaßt, wobei dieser Sensor das erste Signal, das von den Umgebungseinflüssen am Ort des Sensors abhängt, abgibt.

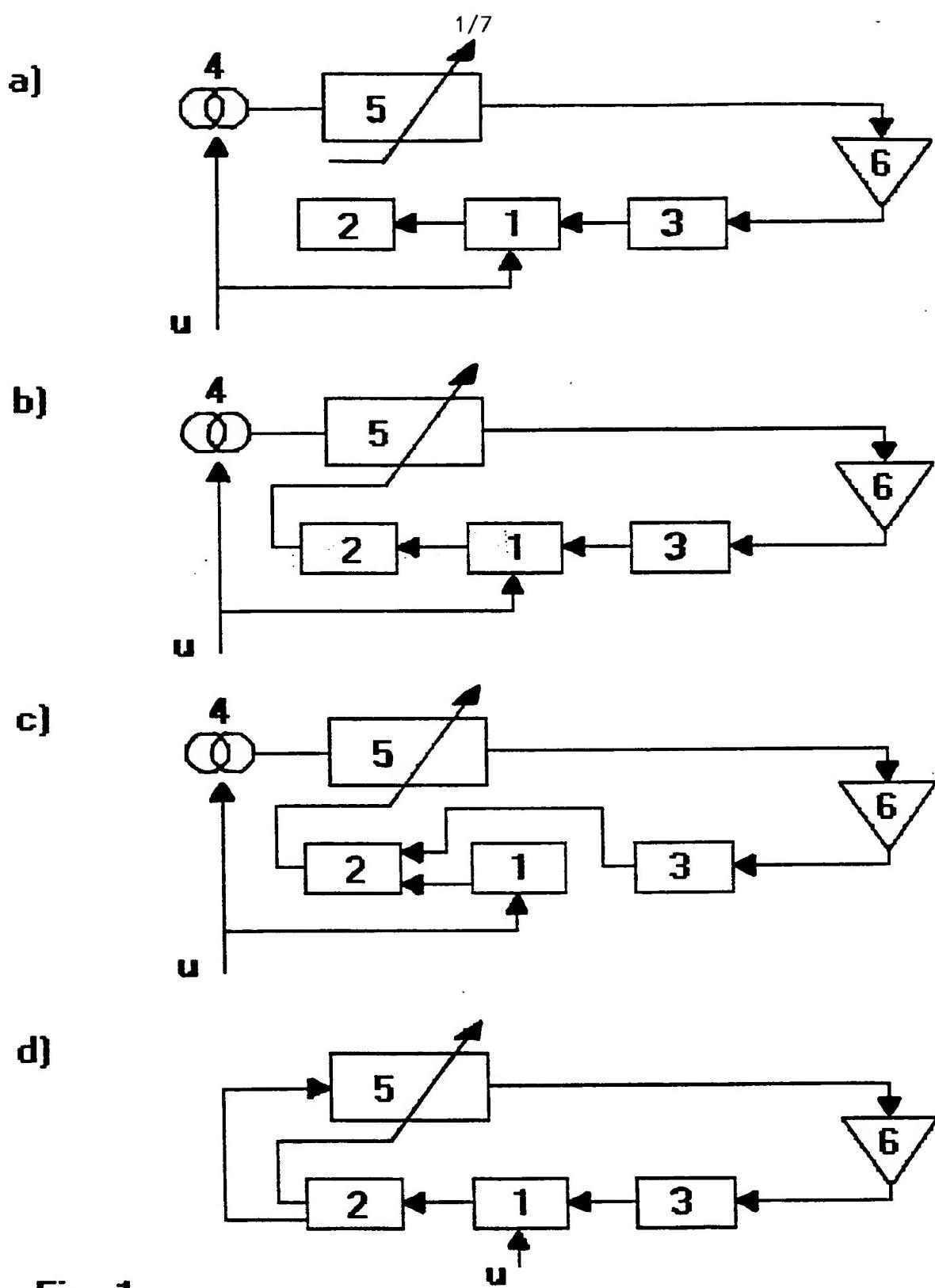


Fig. 1

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

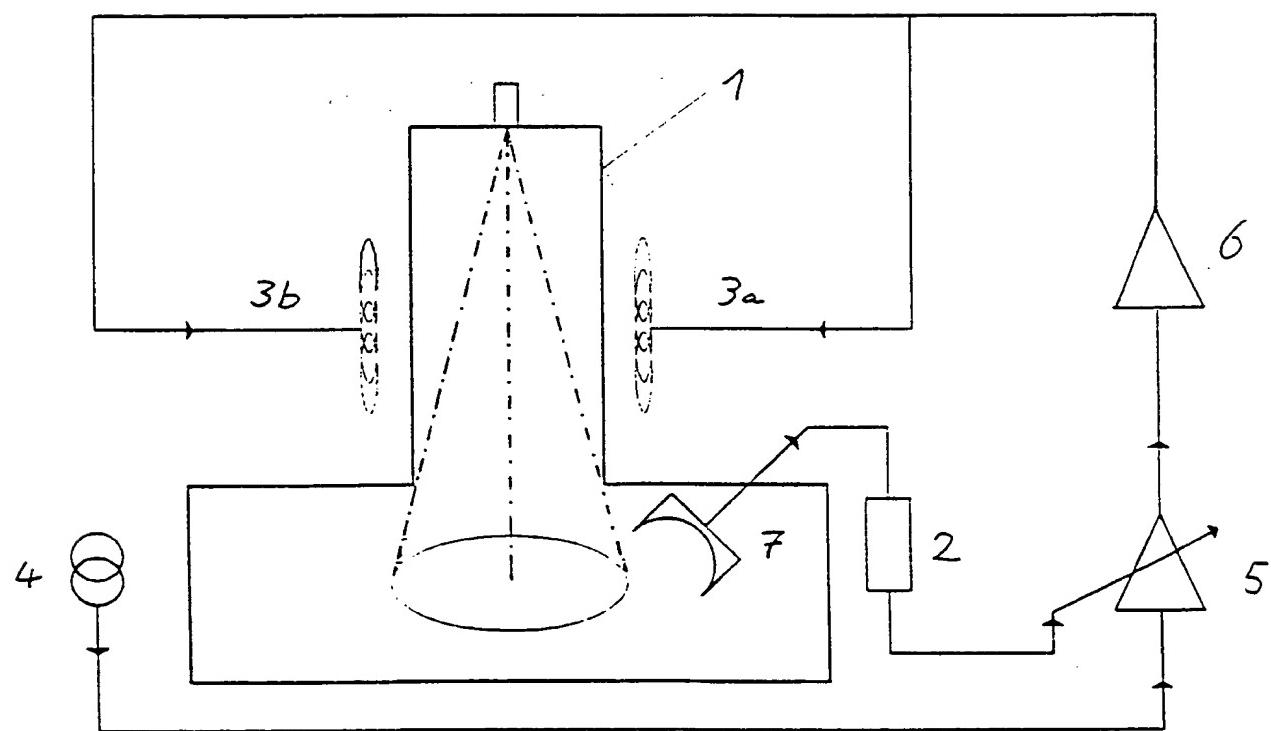


Fig.2

*THIS PAGE BLANK (USPTO)*

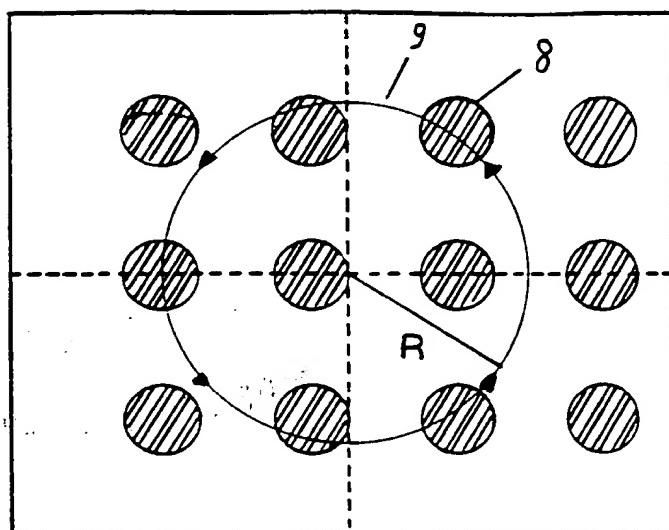


Fig. 3

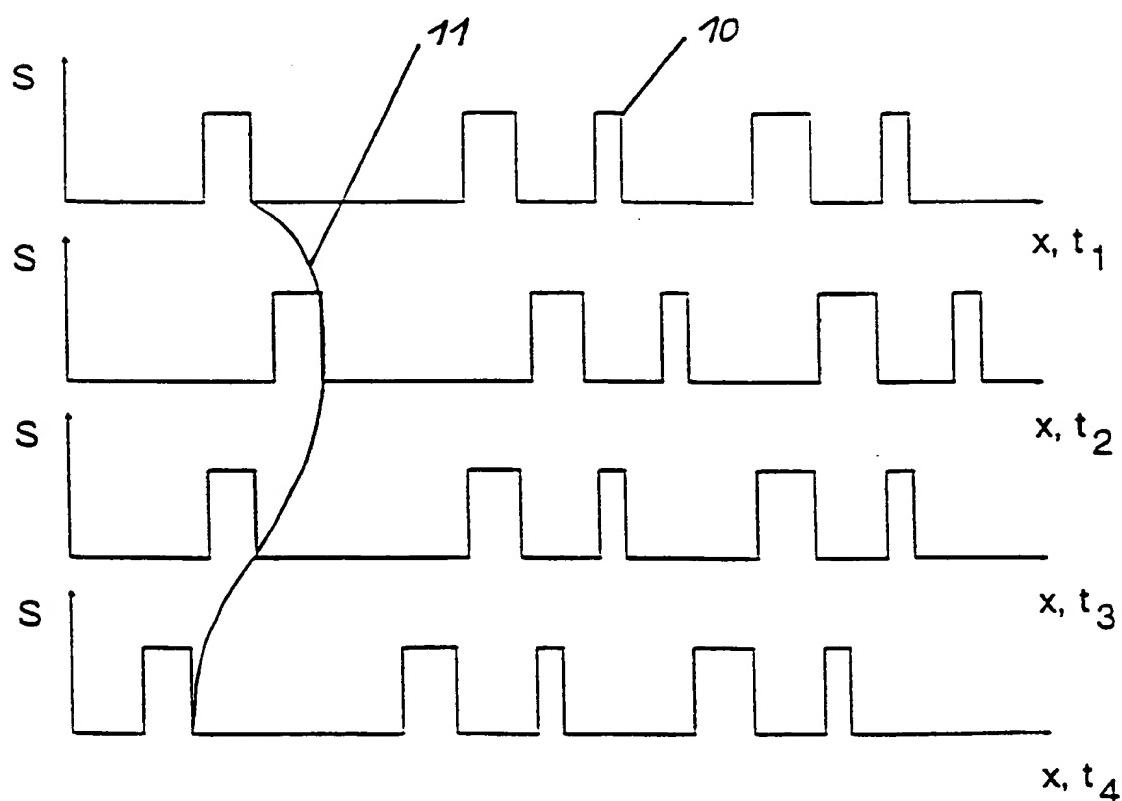


Fig 4

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

4/7

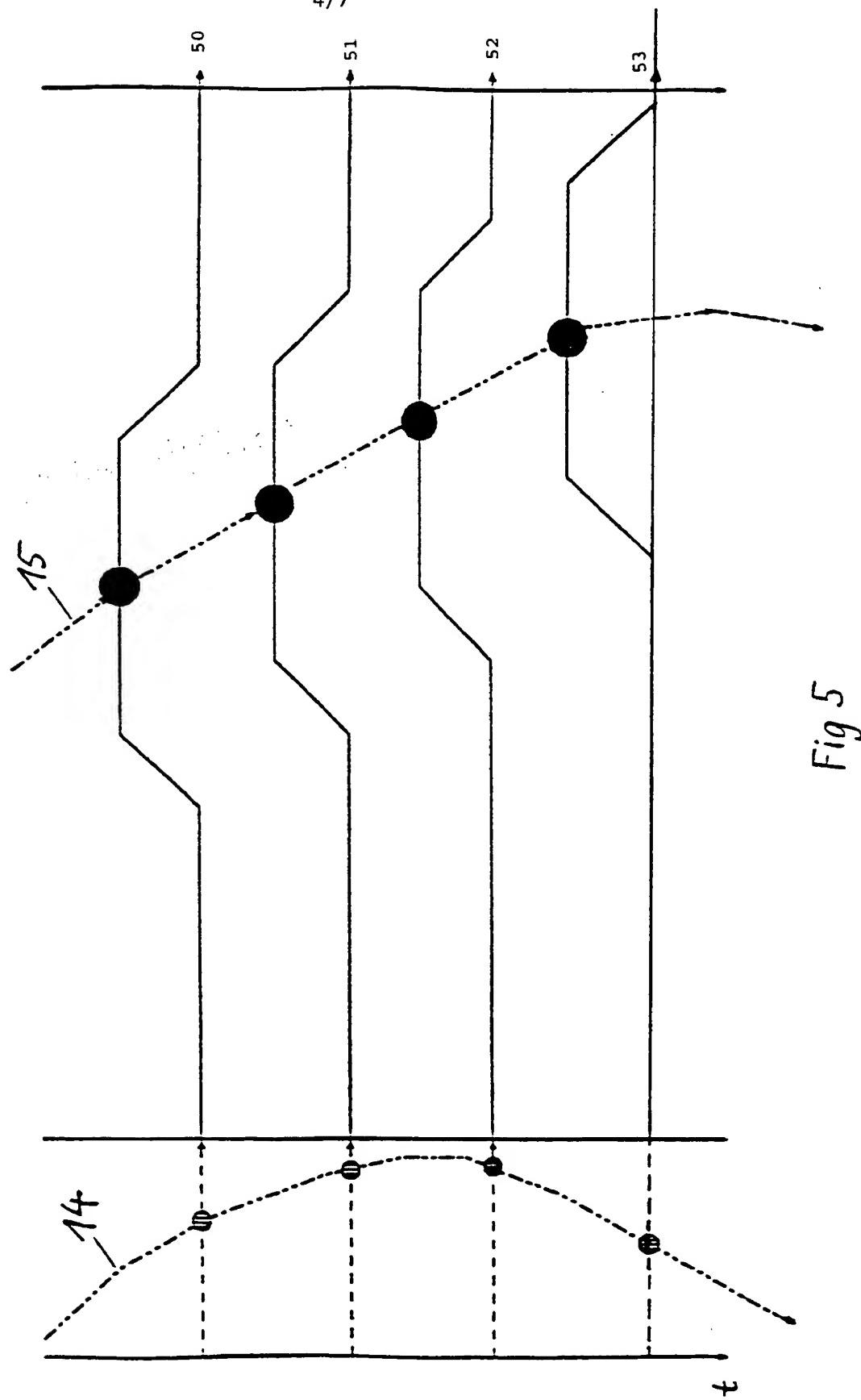


Fig 5

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

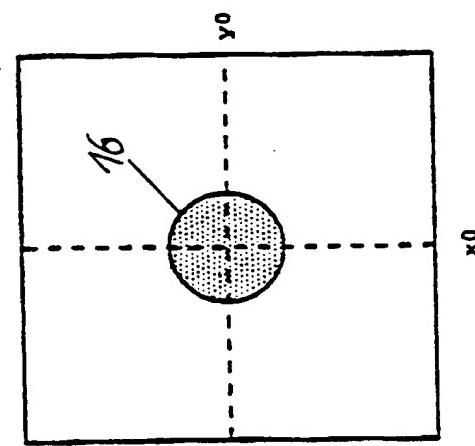
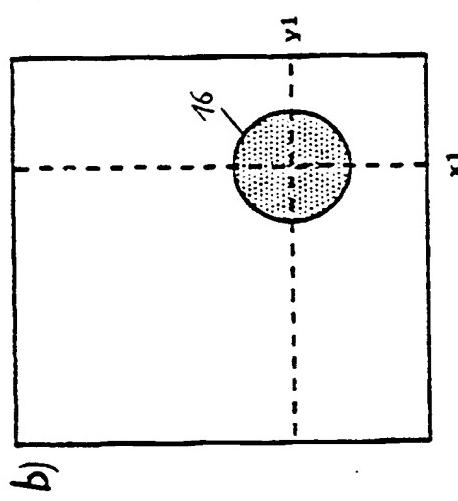
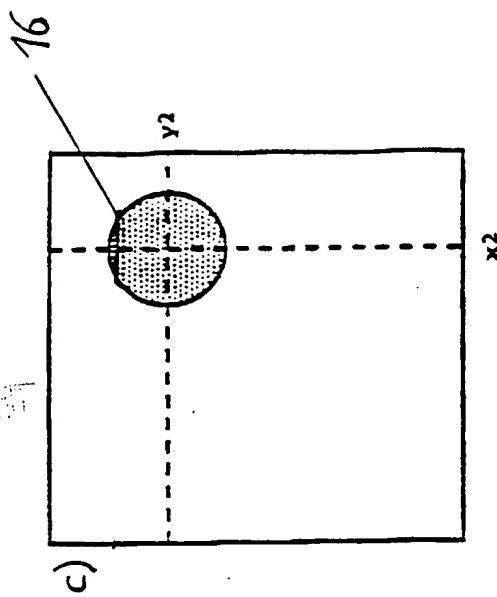


Fig 6

a)

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

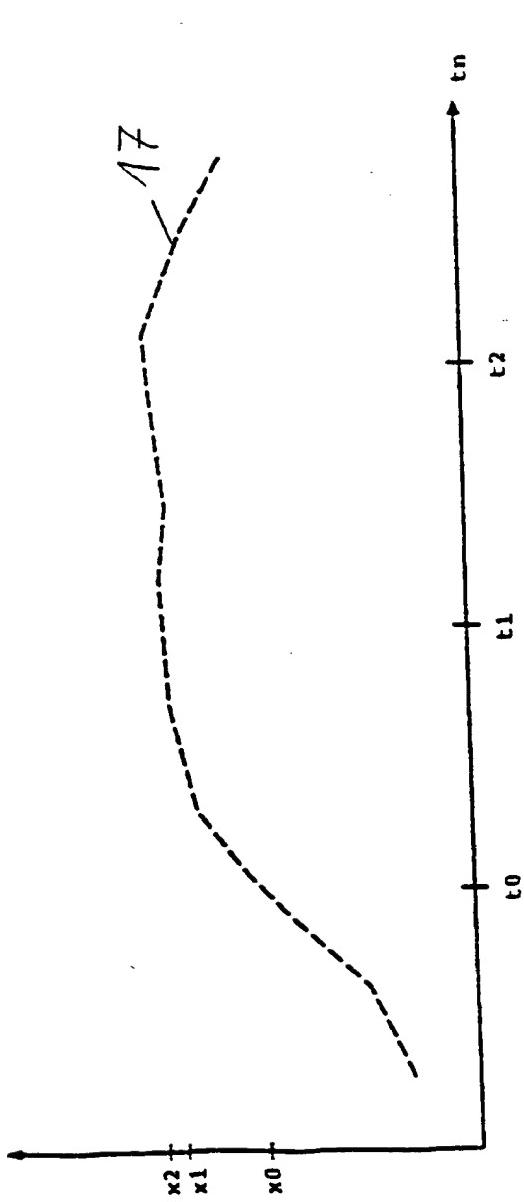


Fig 7

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

7/7

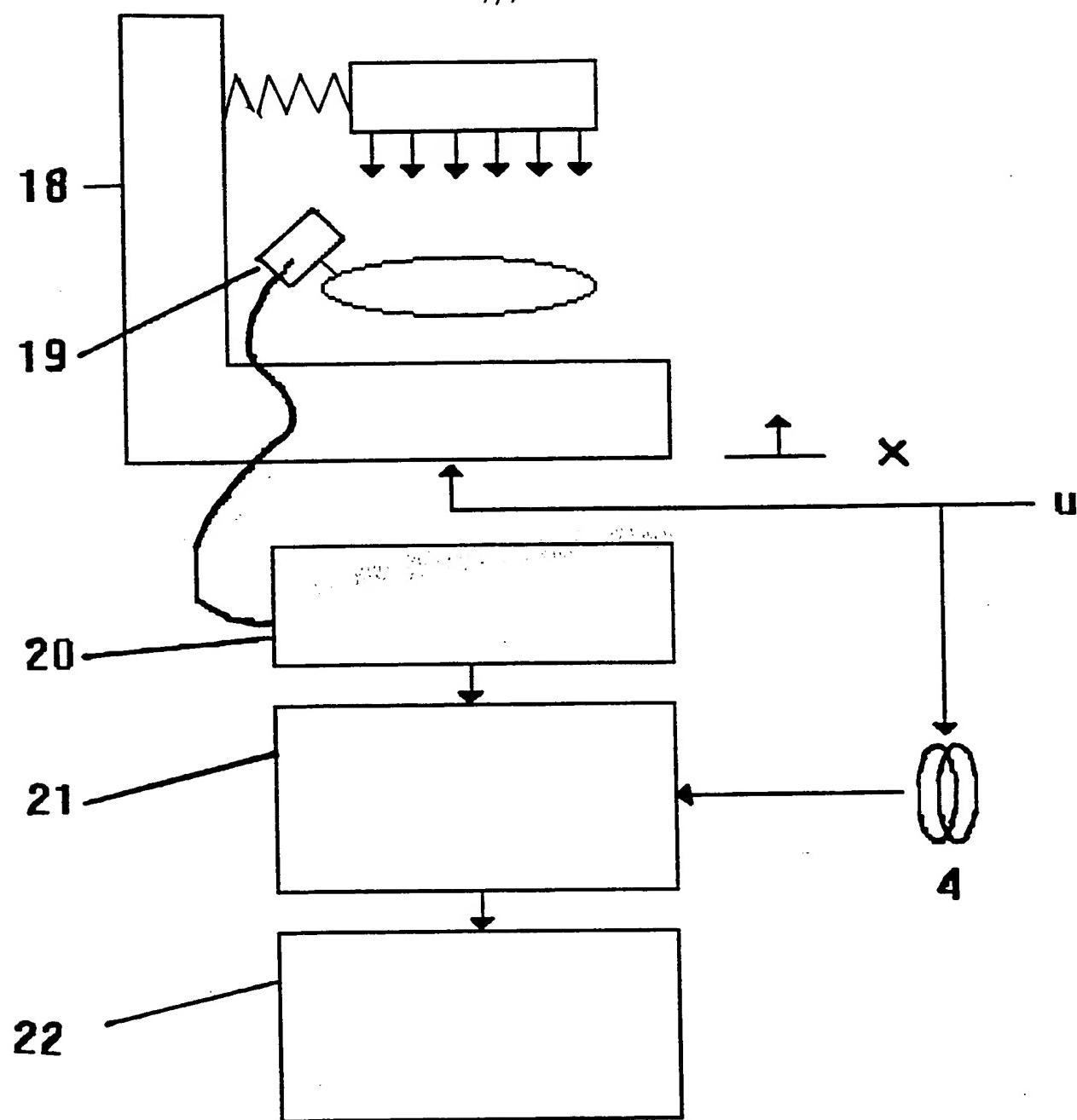


Fig. 8

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**